

ADSORPSI ION Cd^{2+} PADA LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN KULIT SINGKONG

Hasrianti

Program Studi Kimia, Fakultas MIPA
Universitas Cokroaminoto Palopo

ABSTRAK.

Penelitian ini bertujuan menentukan (1) kondisi optimum (waktu dan pH) adsorpsi ion Cd^{2+} dengan menggunakan kulit singkong, (2) kapasitas adsorpsi ion Cd^{2+} dengan menggunakan kulit singkong, dan (3) jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi dari limbah cair dengan menggunakan kulit singkong. Penelitian ini dilaksanakan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah deskriptif. Pengambilan sampel dilakukan di bak penampungan limbah cair rumah sakit umum Ibnu Sina dan dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif yang dilaporkan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu kontak optimum yang diperlukan untuk adsorpsi ion Cd^{2+} dengan menggunakan kulit singkong adalah 3 jam perendaman dan pH optimum adalah 6,1. Adsorpsi ion Cd^{2+} oleh kulit singkong lebih sesuai dengan isothermal adsorpsi Freundlich dengan nilai $k = 0,0423 \text{ mg/g}$. Jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi dari limbah cair dengan menggunakan kulit singkong yaitu sebanyak 0,00014 mg/g.

Kata kunci: Adsorpsi, ion Cd^{2+} , isothermal adsorpsi, kulit singkong

PENDAHULUAN

Air merupakan zat yang penting dalam kehidupan makhluk hidup di dunia. Namun saat ini, sebagian besar air telah tercemar oleh polutan-polutan berbahaya yang dapat menimbulkan masalah bagi kehidupan. Air buangan atau limbah cair yang berasal dari kegiatan industri merupakan penyebab utama terjadinya pencemaran air (Wardhana, 1995). Berbagai polutan telah dilaporkan sebagai bahan berbahaya, salah satu diantaranya adalah logam berat yang telah dilaporkan baik di Negara maju maupun Negara yang sedang berkembang (Darmono, 1995).

Permasalahan pencemaran air juga telah terjadi di Sungai Tallo kota Makassar. Menurut BLHD, enam perusahaan diduga melakukan pencemaran dengan membuang limbah cair yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) di sepanjang Sungai Tallo, salah satu diantaranya adalah logam berat. Enam perusahaan tersebut yakni Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tallo, PT. Iradat Aman, PT. Sewatama, PT. Makassar Tene, PT. Katingan Timber Celebes(KTC), dan Rumah Sakit Umum Ibnu Sina. Pencemaran tersebut diduga terjadi karena perusahaan tersebut tidak melakukan pengolahan limbah terlebih

dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Letak perusahaan tersebut berada di sepanjang Sungai Tallo sehingga potensi pencemaran cukup tinggi (Fajar Makassar, 2010).

Menurut Darmono (2006), logam berat yang berbahaya terutama yang mencemari lingkungan adalah merkuri (Hg), timbal (Pb), arsen (As), kadmium (Cd), krom(Cr), dan nikel (Ni). Logam kadmium (Cd) merupakan unsur logam berat yang paling beracun setelah Merkuri (Hg). Kadmium merupakan logam toksisitas kronis yang biasanya terakumulasi di dalam tubuh terutama dalam ginjal. Keracunan kadmium (Cd) dalam waktu lama bersifat toksik terhadap beberapa macam organ yaitu paru-paru, tulang, hati, dan ginjal.

Menurut Hariani dkk (2009), usaha-usaha pengendalian limbah ion logam belakangan ini semakin berkembang, yang mengarah pada upaya-upaya pencarian metode-metode baru yang murah, efektif, dan efisien. Beberapa metode kimia maupun biologis telah dicoba untuk menghilangkan logam berat yang terdapat di dalam limbah, diantaranya adsorpsi, pertukaran ion (*ion exchange*), dan pemisahan dengan membran. Proses adsorpsi lebih banyak dipakai dalam industri karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu lebih ekonomis dan juga tidak menimbulkan efek samping yang beracun serta mampu menghilangkan bahan-bahan organik.

Penggunaan bahan biomaterial sebagai penyerap ion logam berat merupakan alternatif yang dapat digunakan. Sejumlah biomaterial seperti lumut, daun teh, sekam padi serta

beberapa organisme air, begitu juga dari bahan nonbiomaterial seperti perlit, tanah gambut, lumpur aktif dan lain-lain telah digunakan sebagai bahan penyerap logam-logam berat dalam air limbah (Hariani dkk, 2009). Berbagai jenis adsorben telah digunakan untuk menghilangkan logam berat. Contoh adsorben adalah berbagai variasi limbah pertanian yang digunakan untuk menghilangkan ion logam berat (Kahraman dkk, 2008), sekam padi untuk menghilangkan logam Cd dan Cr (Khan dkk, 2004), kulit singkong untuk menghilangkan logam Cu dan Pb (Pinandari, 2010), kulit singkong untuk menghilangkan logam Cu dan Zn (Agiri dan Akaranta, 2009), dan kitosan untuk menghilangkan logam Zn^{2+} (Karthikeyan dan Muthulakshmi, 2004).

Limbah kulit singkong dapat dimanfaatkan sebagai bahan yang mampu mengurangi kadar logam berat berbahaya. Berdasarkan beberapa hasil penelitian menyatakan bahwa kulit singkong memiliki kandungan protein, *sellulosa non-reduksi*, serat kasar yang tinggi dan HCN (asam sianida). *komponen-komponen* tersebut mengandung gugus –OH, –NH₂, –SH dan –CN yang dapat mengikat logam (Anonim, 2010). Kulit singkong mengandung C (Karbon) sebesar 59,31% yang berarti terdapat carbon yang tinggi, H (Hidrogen) sebesar 9,78%, O (Oksigen) sebesar 28,74% , N (Nitrogen) sebesar 2,06 % , S (Sulfur) sebesar 0,11% dan H₂O (Air) sebesar 11,4% (Akanbi, 2007). Selain itu, menurut Hanifah dkk (2010), kulit singkong juga mengandung 459, 56 ppm HCN (asam sianida).

TUJUAN DAN MANFAAT

1. Menentukan kondisi optimum (waktu dan pH) adsorpsi ion Cd^{2+} menggunakan kulit singkong.
2. Menentukan kapasitas adsorpsi ion Cd^{2+} menggunakan kulit singkong.
3. Menentukan jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi dari limbah cair menggunakan kulit singkong

TINJAUAN PUSTAKA

Pencemaran air atau polusi air dapat diartikan berbeda oleh satu orang dengan orang lainnya mengingat banyak pustaka acuan yang merumuskan definisi istilah tersebut. baik dalam kamus atau buku teks ilmiah. Pengertian pencemaran air juga didefinisikan dalam Peraturan Pemerintah, sebagai turunan dari pengertian pencemaran lingkungan hidup yang didefinisikan dalam undang-undang. Dalam praktek operasionalnya. pencemaran lingkungan hidup tidak pernah ditunjukkan secara utuh, melainkan sebagai pencemaraan dari komponen komponen lingkungan hidup, seperti pencemaran air, pencemaran air laut, pencemaran air tanah dan pencemaran udara (Warlina, 2004).

Dalam PP No. 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air. “pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya” (Pasal 1,angka 2).

Pencemaran air juga merupakan penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal, bukan dari kemurniannya. Air yang tersebar di alam semesta ini tidak pernah terdapat dalam bentuk murni, namun bukan berarti bahwa semua air sudah tercemar. Walaupun di daerah pegunungan atau hutan yang terpencil dengan udara yang bersih dan bebas dari pencemaran air, air hujan yang turun di atasnya selalu mengandung bahan-bahan terlarut. seperti CO_2 , O_2 dan N_2 , serta bahan-bahan tersuspensi misalnya debu dan partikel-partikel lainnya yang terbawa air hujan dari atmosfer (Warlina, 2004).

Bahan pencemar air secara umum dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 1. Tidak semua perairan mengandung bahan pencemar yang sama karena terjadinya pencemaran ditentukan oleh banyak faktor.

Tabel1.Klasifikasi umum dari bahan pencemar air

Jenis Bahan Pencemar	Pengaruhnya
Unsur-unsur renik	Kesehatan. biota akuatik
Senyawa organ logam	Transpor logam
Polutan anorganik	Toksisitas, biota akuatik
Asbestos	Kesehatan manusia
Hara-ganggang	Eutrofikasi
Radionuklida	Toksisitas
Zat pencemar organik renik	Toksisitas
Pestisida	Toksisitas. biota akuatik. satwa liar
PCB	Kesehatan manusia

Carsinogen	Penyebab kanker
Limbah minyak	Satwa liar, estetik
Patogen	Kesehatan
Detergen	Introfikasi, estetik
Sedimen	Kualitas air, estetik
Rasa, Bau dan Warna	Estetik

Sumber: Manahan, 1994.

Logam Berat Kadmium (Cd)

Sekarang ini beban pencemaran dalam lingkungan air sudah semakin berat dengan masuknya limbah industri dari berbagai bahan kimia yang kadang kala sangat berbahaya dan beracun meskipun dalam konsentrasi yang masih rendah seperti bahan pencemar logam-logam berat (Achmad, 2004).

Istilah logam berat sebetulnya dapat dipergunakan secara luas terutama dalam perpustakaan ilmiah. Karakteristik dari kelompok logam berat antara lain memiliki gravitas spesifik yang sangat besar yaitu lebih dari 4, mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida, mempunyai respon biokimia khas pada organisme hidup (Palar, 1994).

Beberapa logam berat tersebut banyak digunakan dalam berbagai keperluan. oleh karena itu diproduksi secara rutin dalam skala industri. Penggunaan logam-logam berat tersebut dalam berbagai keperluan sehari-hari berarti secara langsung maupun tidak langsung, atau sengaja maupun tidak sengaja. telah mencemari lingkungan (Fardiaz, 1992).

Logam berat berbahaya yang terutama mencemari lingkungan adalah merkuri (Hg), timbal (Pb), arsen (As), kadmium (Cd), krom (Cr), dan nikel (Ni). Logam-logam berat diketahui dapat terakumulasi di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai racun. Dua macam logam berat yang sering mengkontaminasi air adalah merkuri dan timbal (Darmono, 2006).

Menurut Palar (1994), logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaanya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Sebagai contoh, bila unsur logam besi (Fe) masuk ke dalam tubuh, meski dalam jumlah agak berlebihan, logam tersebut tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh karena unsur besi (Fe) dibutuhkan dalam darah untuk mengikat oksigen. Sedangkan unsur logam berat baik itu logam berat beracun yang dipentingkan seperti tembaga (Cu) bila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh.

Menurut Palar (2004), logam berat berdasarkan sifat racunnya dapat dikelompokkan menjadi 4 golongan yaitu :

- Sangat beracun, dapat mengakibatkan kematian ataupun gangguan kesehatan yang pulih dalam waktu yang singkat. logam-logam tersebut adalah Hg, Pb, Cd, Cr dan As.
- Moderat. yaitu mengakibatkan gangguan kesehatan baik yang pulih

maupun tidak dalam waktu yang relatif lama. logam-logam tersebut adalah Ba, Be, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Co dan Rb.

- c. Kurang beracun. logam ini dalam jumlah besar menimbulkan gangguankesehatan. logam-logam tersebut adalah Al, Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Ag, Ti dan Zn.
- d. Tidak beracun. yaitu tidak menimbulkan gangguan kesehatan. Logam-logam tersebut adalah Na, Al, Sr dan Ca.

Logam Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah salah satu logam berat dengan penyebaran yang sangat luas di alam, logam ini bernomor atom 48, berat atom 112,40 dengan titik cair $321^{\circ}C$ dan titik didih $765^{\circ}C$. Di alam Cd bersenyawa dengan belerang (S) sebagai greenocckite (CdS) yang ditemui bersamaan dengan senyawa spalerite (ZnS). Kadmium merupakan logam lunak (*ductile*) berwarna putih perak dan mudah teroksidasi oleh udara bebas dan gas amonia (NH_3) (Palar, 2004).

Kadmium yang bervalensi dua (Cd^{2+}) merupakan bentuk terlarut stabil dalam lingkungan perairan laut pada pH dibawah 8,0. Kadar Cd di perairan alami berkisar antara 0,29-0,55 ppb dengan rata-rata 0,42 ppb. Dalam lingkungan alami yang bersifat basa, kadmium mengalami hidrolisis, teradsorpsi oleh padatan tersuspensi dan membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik. Di perairan alami, Cd membentuk ikatan baik dengan ligan organik maupun anorganik. seperti $Cd(OH)^+$, $CdCl^+$, $CdSO_4$, $CdCO_3$ dan Cd organik (Sanusi, 2006).

Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses fisik atau kimia dimana senyawa berakumulasi di permukaan(*interface*) antar dua fase. *Interface* merupakan suatu lapisan yang homogen antara dua permukaan yang saling berkontak. Substansi yang diserap disebut adsorbat sedangkan material yang berfungsi sebagai penyerap disebut adsorben (Anonim, 2011).

Menurut Anonim (2011), mekanisme yang terjadi pada proses adsorpsi yaitu :

1. Molekul-molekul adsorben berpindah dari fase bagian terbesar larutan ke permukaan interface. yaitu lapisan film yang melapisi permukaan adsorben atau eksternal.
2. Molekul adsorben dipindahkan dari permukaan ke permukaan luar dari adsorben (*exterior surface*).
3. Molekul-molekul adsorbat dipindahkan dari permukaan luar adsorben menyebar menuju pori-pori adsorben. Fase ini disebut dengan difusi pori.
4. Molekul adsorbat menempel pada permukaan *pori-pori adsorben*.

Umumnya adsorpsi ion logam dari larutan ke permukaan adsorben merupakan adsorpsi fisik dimana gaya yang bekerja antar logam berat dari permukaan karbon aktif adalah *gaya Van der Walls* dimana tidak terjadi reaksi reaksi secara kimia atau pengikatan secara *ionik logam* dengan adsorben.

Menurut Mufrodi dkk (2008), ada dua metode adsorpsi yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Perbedaan dasar antara adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia adalah sifat dari gaya-gaya yang menyebabkan ikatan adsorpsi tersebut.

1. Adsorpsi fisika

Ikatan Van der Waals, reversible, karena proses penyerapan dapat lepas kembali ke dalam pelarut, kalor adsorpsi kecil yaitu 5-10 kkal/mol, kecepatan pembentukan ikatan cukup tinggi, regenerasi dapat dilakukan, terjadi pada suhu rendah, makin tinggi suhu tingkat penyerapan semakin kecil.

2. Adsorpsi kimia

Ikatan kimia irreversible, karena proses penyerapan tidak dapat dilepas kembali ke dalam pelarut, kalor adsorpsi besar yaitu 10-100 kkal/mol, kecepatan pembentukan ikatan bisa lambat bisa cepat, tergantung besarnya energi aktivasi. Regenerasi tidak dapat dilakukan. terjadi pada suhu tinggi, makin tinggi suhu tingkat penyerapan semakin besar.

Waktu Kontak

Waktu untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam (Khasanah, 2009). Jumlah zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorben merupakan proses berkesetimbangan, sebab laju peristiwa adsorpsi disertai dengan terjadi desorpsi. Pada awal reaksi, peristiwa adsorpsi lebih dominan dibandingkan dengan peristiwa desorpsi, sehingga adsorpsi berlangsung cepat.

Pada waktu tertentu peristiwa adsorpsi cenderung berlangsung lambat pada keadaan berkesetimbangan tidak teramati perubahan secara makroskopis. Waktu tercapainya keadaan setimbang pada proses adsorpsi adalah berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat. Secara umum, waktu

tercapainya kesetimbangan adsorpsi melalui mekanisme secara fisika (*physisorption*) lebih cepat dibandingkan dengan melalui mekanisme secara kimia (*chemisorptions*) (Castellans, 1982).

pH

Tingkat keasaman atau pH mempunyai pengaruh dalam proses adsorpsi. pH optimum dari suatu proses adsorpsi ditetapkan melalui uji laboratorium. pH mempengaruhi sisi aktif biomassa serta berpengaruh pada mekanisme adsorpsi ion logam. Pada pH rendah adsorpsi ion logam relatif kecil. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada kondisi asam, gugus fungsi yang terdapat pada adsorben terprotonasi, sehingga terjadi pengikatan ion hidrogen (H^+) dan ion hidronium (H_3O^+) (Oscik, 1991). Sementara itu, ion-ion logam dalam larutan sebelum teradsorpsi oleh adsorben terlebih dahulu, mengalami hidrolisis, menghasilkan proton (Adamson, 1990).

Menurut Elliott, dkk (1986) dalam kondisi asam permukaan adsorben juga bermuatan positif sehingga terjadi tolakan antara permukaan adsorben dengan ion logam, akibatnya adsorpsi rendah. Sementara itu pada pH tinggi adsorpsi relatif tinggi, hal ini dapat terjadi karena kompleks hidroksida logam (MOH^+) yang akan terbentuk didalam larutan lebih banyak, demikian juga permukaan adsorben akan bermuatan negatif dengan melepaskan proton sehingga melalui gaya elektrostatis akan terjadi tarik menarik yang menyebabkan peningkatan adsorpsi.

Kapasitas Adsorpsi

Proses adsorpsi sangat sesuai untuk memisahkan bahan dengan konsentrasi

yang rendah dari campuran yang mengandung bahan lain dengan konsentrasi tinggi. Konsentrasi dalam larutan berpengaruh pada pengambilan spesifik ion logam dan dengan adanya variasi konsentrasi maka dapat ditentukan kapasitas adsorpsi dengan menggunakan isothermal adsorpsi. Adsorpsi diikuti dengan pengamatan isothermal adsorpsi yaitu hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi persatuan berat adsorben dengan konsentrasi zat terlarut pada temperatur tertentu atau tetap yang dinyatakan dengan kurva.

Permukaan zat padat dapat mengadsorpsi zat terlarut dari larutannya. Hal ini disebabkan karena adanya pengumpulan molekul-molekul suatu zat pada permukaan zat lain sebagai akibat ketidakseimbangan gaya-gaya pada permukaan tersebut. Kekuatan interaksi adsorbat dengan adsorben dipengaruhi oleh sifat dari adsorbat maupun adsorbennya. Gejala yang umum dipakai untuk meramalkan komponen mana yang diadsorpsi lebih kuat adalah kepolaran adsorben dengan adsorbatnya. Apabila adsorbennya bersifat polar, maka komponen yang bersifat polar akan terikat lebih kuat dibandingkan dengan komponen yang kurang polar.

Kekuatan interaksi juga dipengaruhi oleh sifat keras-lunaknya dari adsorbat maupun adsorben. Sifat keras untuk kation dihubungkan dengan kemampuan suatu kation untuk mempolarisasi anion dalam suatu ikatan (*polarizing power cation*). Kation yang mempunyai kemampuan besar untuk mempolarisasi anion cenderung bersifat keras. Kemampuan yang besar suatu kation untuk mempolarisasi anion dimiliki oleh ion-ion

logam dengan ukuran (jari-jari) kecil dan muatan yang besar. Sebaliknya kemampuan yang kecil suatu kation untuk mempolarisasi anion dimiliki oleh logam-logam dengan ukuran besar namun muatannya kecil, sehingga diklasifikasikan sebagai ion lunak. Sedangkan pengertian keras untuk anion yaitu kemampuan suatu anion untuk mengalami polarisasi (*polarisabilitas anion*) akibat medan listrik dari kation. Anion yang bersifat keras adalah anion yang berukuran kecil, muatan besar dan elektronegativitas tinggi, sebaliknya anion lunak dimiliki oleh anion dengan ukuran besar, muatan kecil dan elektronegativitas yang rendah. Ion logam keras berikatan kuat dengan anion keras dan ion logam lunak berikatan kuta dengan anion lunak (Castellans, 1982). Menurut Pearson (1963) mengklasifikasikan asam-basa Lewis menurut sifat keras dan lunaknya. Pusat aktif pada permukaan padatan dapat dianggap sebagai ligan yang dapat mengikat logam secara selektif. Logam dan ligan dikelompokkan menurut sifat keras dan lunaknya berdasarkan pada polarisabilitas unsur.

Pearson (1963), mengemukakan suatu prinsip yang disebut Keras Lunak Asam Basa (*Hard and Soft Acid Base*. HSAB). Ligan-ligan dengan atom yang sangat elektronegatif dan berukuran kecil merupakan basa keras. sedangkan ligan-ligan dengan atom yang elektron terluarnya mudah terpolarisasi akibat pengaruh ion dari luar merupakan basa lunak. Ion-ion logam yang berukuran kecil namun bermuatan positif yang besar, elektron terluarnya tidak mudah dipengaruhi oleh ion dari luar dikelompokkan ke dalam asam keras. Ion-

ion logam yang berukuran besar dan bermuatan kecil atau nol, elektron terluarnya mudah dipengaruhi oleh ion lain. dikelompokkan ke dalam asam

lunak. Pengelompokan asam-basa menurut prinsip HSAB Pearson dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Asam dan basa beberapa senyawa dan ion menurut prinsip HSAB Pearson

	Keras (Golongan A)	Perbatasan	Lunak (Golongan B)
Asam	H^+ , Li^+ , Na^+ , K^+ Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} BF_3 , BCl_3 , $B(OR)_3$ Al^{3+} , $Al(CH_3)_3$, $AlCl_3$, AlH_3 Cr^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Co^{3+}	Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} Rh^{3+} , Ir^{3+} , Ru^{3+} , Os^{2+}	Cu^+ , Ag^+ , Au^+ , Cd^{2+} , Hg_2^{2+} , Hg^{2+} , CH_3Hg^+ , $[Co(CN)_5]^{3-}$, Pd^{2+} , Pt^{2+} , Pt^{4+}
Basa	F^- , Cl^- H_2O , OH^- , O^{2-} ROH , RO^- , R_2O , CH_3COO^- NO_3^- , ClO_4^- CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} NH_3 , RNH_2 , N_2H_4	Br^- NO_2^- , N_3^- SO_3^{2-} $C_6H_5NH_2$, C_5H_5N , N_2	H^- I^- H_2S , HS^- , S^{2-} RSH , RS^- , R_2S SCN^- , CN^- , RNC , CO $S_2O_3^{2-}$ R_3P , $(RO)_3P$, R_3As C_2H_4 , C_6H_6

Sumber: Pearson (1963)

Menurut prinsip HSAB, asam keras akan berinteraksi dengan basa keras untuk membentuk kompleks, begitu juga asam lunak dengan basa lunak. Interaksi asam keras dengan basa keras merupakan interaksi ionic, sedangkan interaksi asam lunak dengan basa lunak, interaksinya lebih bersifat kovalen.

Porositas adsorben juga mempengaruhi daya adsorpsi dari suatu adsorben. Adsorben dengan porositas yang besar mempunyai kemampuan menyerap yang lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben yang memiliki porositas kecil. Untuk meningkatkan porositas

dapat dilakukan dengan mengaktivasi secara fisika seperti mengalirkan uap air panas ke dalam pori-pori adsorben, atau mengaktivasi secara kimia. Salah satu cara mengaktivasi adsorben secara kimia adalah aktivasi selulosa melalui penggantian gugus aktif $-OH$ pada selulosa dengan gugus HSO_3^- melalui proses sulfonasi (Gellerstedt, 1976).

Isotermal Adsorpsi

Isotermal adsorpsi menggambarkan konsentrasi yang bergantung pada kesetimbangan distribusi ion-ion logam antara larutan dan fase padat pada suhu

tetap. Untuk mendapatkan data kesetimbangan, konsentrasi awal dibuat bervariasi sedangkan massa adsorben dalam tiap sampel tetap. Untuk menguji hubungan data antara adsorben dan konsentrasi larutan pada kesetimbangan digunakan model isothermal adsorpsi yaitu model isothermal Langmuir dan Freundlich (Nomanbhay dan Palanisamy. 2005).

Isothermal Langmuir

Isothermal Langmuir mengasumsikan adsorpsi lapisan tunggal pada permukaan yang mengandung sejumlah tertentu pusat adsorpsi dengan energi-energi adsorpsi yang seragam tanpa perpindahan adsorbat pada bidang permukaan (Nix, 2001).

Bentuk linear dari persamaan isothermal Langmuir ditunjukkan pada persamaan:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b} + \frac{C_e}{Q_0}$$

C_e adalah konsentrasi kesetimbangan (mg/L). q_e adalah jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben (mg/g). Q_0 adalah kapasitas adsorpsi dan b adalah intensitas adsorpsi.

Isothermal Freundlich

Isothermal Freundlich ini digunakan pada energi permukaan yang heterogen dengan konsentrasi yang berbeda-beda. Bentuk linear dari isotherm Freundlich ditunjukkan oleh persamaan:

$$\log(x/m) = \log k + \frac{1}{n} \log C_e$$

dimana x adalah jumlah zat terlarut yang diadsorpsi. m adalah gram adsorben yang digunakan. C adalah konsentrasi kesetimbangan larutan. k dan n merupakan konstanta yang menggabungkan seluruh faktor yang mempengaruhi proses

adsorpsi seperti kapasitas dan intensitas adsorpsi (Namasivayam. 2001).

Potensi Kulit Singkong Sebagai Adsorben Logam Berat

Kulit singkong merupakan limbah hasil pengupasan pengolahan produk pangan berbahan dasar umbi singkong, jadi keberadaannya sangat dipengaruhi oleh eksistensi tanaman singkong yang ada di Indonesia. Kulit singkong terkandung dalam setiap umbi singkong dan keberadaannya mencapai 16% dari berat umbi singkong tersebut. Diketahui produksi umbi singkong pada tahun 2008 adalah sebanyak 20,8 juta ton, artinya potensi kulit singkong di Indonesia mencapai angka 3,3 juta ton/tahun (Supriyadi, 1995).

Indonesia penghasil singkong terbesar ketiga di dunia. Secara umum singkong-singkong tersebut diolah menjadi makanan ringan atau sebagai bahan baku pembuatan sagu. Sementara itu, kulit singkong banyak dibuang karena dianggap tak punya nilai guna bagi masyarakat. Pemanfaatannya hanya sebatas untuk pakan ternak. Limbah kulit singkong dapat dimanfaatkan sebagai bahan yang mampu mengurangi kadar logam berat berbahaya. Logam-logam yang dapat diserap seperti *timbal* (Pb^{2+}), tembaga (Cu^{2+}) dan *kadmium* (Cd^{2+}). Disebut logam berat berbahaya karena konsentrasi kecil dapat bersifat racun dan berbahaya.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilaksanakan ini menggunakan metode deskriptif dengan maksud mendapatkan informasi tentang

adsorpsi ion Cd^{2+} pada limbah cair dengan menggunakan kulit singkong. Penelitian ini dilaksanakan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar, sampel limbah cair diambil dari bak penampungan limbah cair Rumah Sakit Umum Ibnu Sina. Penelitian ini berlangsung pada bulan Mei sampai Juni 2012. Sampel limbah cair diambil pada bak penampungan limbah cair di Rumah Sakit Umum Ibnu Sina. Limbah tersebut kemudian dilakukan uji pendahuluan untuk mengetahui konsentrasi ion Cd^{2+} , selanjutnya akan dimasukkan ke dalam bak pengolahan.

Prosedur Kerja

Penyiapan adsorben kulit singkong

Kulit singkong dicuci bersih dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran. Setelah itu dijemur dibawah terik matahari selama 5 hari, kemudian dihaluskan dan diayak dengan ukuran 100 mesh (Pinandari, 2010). Adsorben kulit singkong yang dihasilkan selanjutnya siap digunakan.

Penentuan waktu kontak optimum

Ke dalam 100 mL larutan ion Cd^{2+} 10 mg/L ditambahkan 1 gram adsorben kulit singkong dan diaduk dengan *stirrer magnetic* pada suhu kamar selama 1, 3, 6, 9, dan 12 jam. Lalu disaring dengan kertas saring Whatman 41. Konsentrasi ion Cd^{2+} setelah adsorpsi ditentukan dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) tipe 6200. Setiap percobaan diulangi 2 kali.

Penentuan pH optimum

Ke dalam 100 mL larutan ion Cd^{2+} 10 mg/L disiapkan pada pH 2, 4, 6 dan 8, masing-masing ditambahkan 1 gram

adsorben kulit singkong dan diaduk dengan *stirrer magnetic* pada suhu kamar selama waktu optimum. Lalu disaring dengan kertas saring Whatman 41. Konsentrasi ion Cd^{2+} setelah adsorpsi ditentukan dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) tipe 6200. Setiap percobaan diulangi 2 kali.

Penentuan kapasitas adsorpsi

Larutan ion Cd^{2+} dengan konsentrasi 20, 40, 80 dan 160 mg/L disiapkan pada pH optimum. Ke dalam tiap-tiap 100 mL larutan tersebut ditambahkan 1 gram adsorben kulit singkong dan diaduk dengan *stirrer magnetic* pada suhu kamar selama waktu optimum. Lalu disaring dengan kertas saring Whatman 41. Konsentrasi ion Cd^{2+} setelah adsorpsi ditentukan dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) tipe 6200. Setiap percobaan diulangi 2 kali.

Adsorpsi Ion Cd^{2+} dari limbah cair

Ke dalam 100 mL limbah cair dengan pH optimum ditambahkan 1 gram adsorben kulit singkong dan diaduk dengan *stirrer magnetic* pada suhu kamar selama waktu optimum. Lalu disaring dengan kertas saring Whatman 41. Konsentrasi ion Cd^{2+} setelah adsorpsi ditentukan dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) tipe 6200. Setiap percobaan diulangi 2 kali.

Konsentrasi ion Cd^{2+} yang diadsorpsi untuk tiap perlakuan dihitung dari:

Konsentrasi teradsorpsi = konsentrasi awal – konsentrasi akhir

$$C_{\text{adsorpsi}} = (C_{\text{awal}} - C_{\text{akhir}})$$

Banyaknya ion-ion logam yang teradsorpsi (mg) per gram adsorben (kulit singkong) ditentukan menggunakan persamaan:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{w}$$

Dimana:

q_e = jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)

C_0 = konsentrasi ion logam sebelum adsorpsi

C_e = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi

V = volume larutan ion logam (L)

W = jumlah adsorben, kulit singkong (g)

Kapasitas adsorpsi dihitung dari persamaan Langmuir ($C_e/q_e = 1/Q_0 + C_e/Q_0$) atau persamaan Freundlich [$\log(x/m) = \log k + 1/n (\log C)$] dengan mengalurkan C_e/q_e terhadap C_e untuk persamaan Langmuir atau $\log(x/m)$ terhadap $\log C$ untuk persamaan Freundlich. Dari intersep persamaan Freundlich diperoleh nilai k (kapasitas adsorpsi) dan dari slope persamaan Langmuir dapat diperoleh nilai Q_0 yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi.

Sampel dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Shimadzu tipe AA 6200 untuk mengetahui jumlah ion Cd²⁺ yang diadsorpsi dari limbah cair dengan menggunakan kulit singkong.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Waktu Kontak Optimum

Waktu kontak merupakan hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Adsorpsi ion dari suatu zat terlarut akan meningkat apabila waktu kontak semakin lama. Waktu kontak yang lama memungkinkan difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi berlangsung lebih banyak. Waktu untuk mencapai keadaan setimbang pada proses serapan logam oleh adsorben berkisar antara beberapa menit hingga beberapa jam (Khasanah, 2009).

Tabel 3 dan Gambar 1 menunjukkan pengaruh waktu kontak terhadap jumlah ion Cd²⁺ yang diadsorpsi. Waktu kontak optimum adsorpsi ion Cd²⁺ terjadi setelah 3 jam dengan jumlah ion yang diadsorpsi berturut-turut 0,90 mg/g. Adsorpsi ion Cd²⁺ setelah waktu kontak 6, 9 dan 12 jam cenderung menurun, hal ini disebabkan karena adsorben kulit singkong sudah jenuh dengan ion logam.

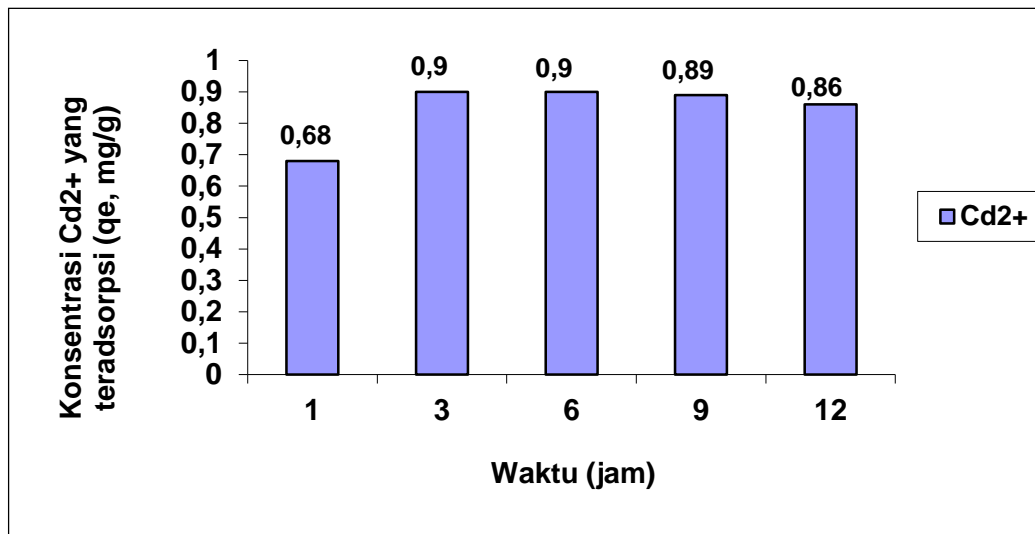
Tabel 3. Jumlah ion Cd²⁺ yang diadsorpsi sebagai fungsi waktu kontak

Waktu Kontak (jam)	Ion Cd ²⁺	
	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
1	3,23	0,68
3	1,04	0,90
6	1,05	0,90
9	1,11	0,89
12	1,38	0,86

Keterangan:

C_e = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi (mg/L)

q_e = jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)



Gambar 1. Pengaruh waktu kontak terhadap jumlah ion Cd²⁺ yang diadsorpsi

Penentuan pH Optimum

Tingkat keasaman atau pH berpengaruh besar terhadap adsorpsi. Keadaan pH larutan mempengaruhi muatan pada permukaan adsorben, demikian halnya perubahan pH dapat mempengaruhi proses adsorpsi sehingga ion H⁺ dapat bereaksi dengan gugus fungsi pada sisi aktif permukaan adsorben. Variabel pH larutan merupakan hal penting dalam adsorpsi ion logam karena ion hidrogen merupakan ion yang berkompetisi kuat dengan ion logam. Untuk mengetahui pengaruh pH pada proses adsorpsi, perlakuan dilakukan pada nilai pH yang berbeda-beda. Kondisi pH optimum ditentukan berdasarkan jumlah adsorpsi tertinggi adsorben kulit singkong terhadap ion logam.

Tabel 4 dan Gambar 2 menunjukkan pengaruh pH terhadap jumlah ion Cd²⁺ yang diadsorpsi. pH optimum adsorpsi ion Cd²⁺ oleh kulit singkong adalah 6,1 dengan jumlah ion yang diadsorpsi 0,93 mg/g. Hasil penelitian berbeda oleh Nurhasni dkk (2009), penyerapan

optimum ion Cd²⁺ dengan menggunakan sekam padi yaitu pada pH 5.

Keaktifan gugus fungsional berinteraksi dengan ion logam pada permukaan adsorben kulit singkong memperlihatkan bahwa mulai dari pH rendah sampai pada pH optimum memberikan peningkatan adsorpsi bagi masing-masing ion Cd²⁺, selanjutnya setelah mencapai adsorpsi optimum maka adsorpsi cenderung menurun. Pada pH rendah yaitu pH 2,2 dan 4,1 adsorpsi ion Cd²⁺ rendah. Hal ini dikarenakan pada pH rendah permukaan adsorben dikelilingi oleh ion H⁺ (karena gugus fungsi yang terdapat pada adsorben terprotonasi). Dalam kondisi asam permukaan adsorben juga bermuatan positif, yang akan menyebabkan terjadi tolakan antara permukaan adsorben dengan ion logam, sehingga adsorpsinya pun menjadi rendah. Sedangkan pada pH yang lebih tinggi yaitu pH 8,3, jumlah ion Cd²⁺ yang diadsorpsi juga menurun karena adanya pengendapan pada pH tersebut sehingga jumlah ion Cd²⁺ yang ada dalam larutan berkurang (Oscik, 1991).

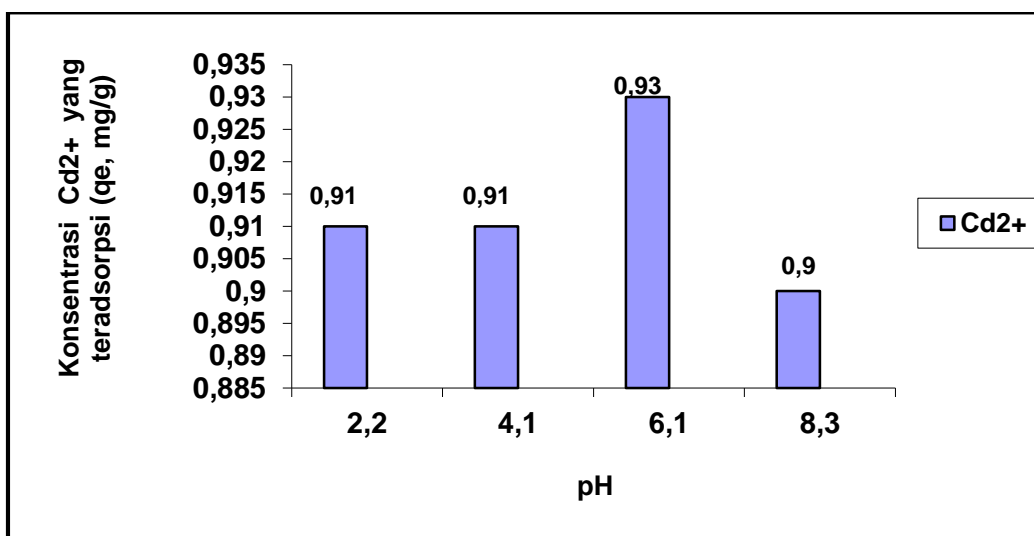
Tabel 4. Jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi sebagai fungsi pH

pH	Ion Cd^{2+}	
	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
2,2	0,97	0,91
4,1	0,87	0,91
6,1	0,71	0,93
8,3	1,05	0,90

Keterangan:

C_e = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi (mg/L)

q_e = jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)



Gambar 2. Pengaruh pH terhadap jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi

Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Tabel 5 dan Gambar 3 menunjukkan variasi jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi sebagai fungsi konsentrasi. Semakin tinggi

konsentrasinya maka jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi oleh adsorben kulit singkong juga semakin banyak.

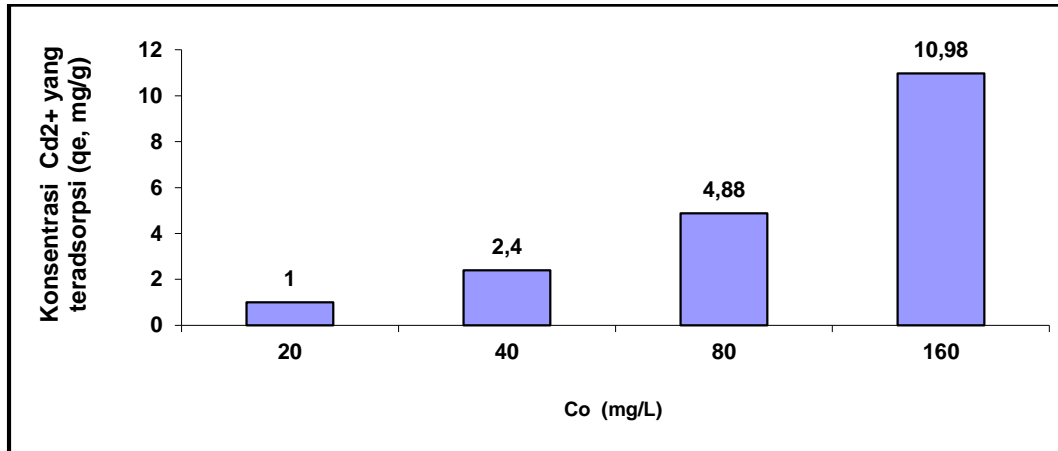
Tabel 5. Jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi oleh kulit singkong sebagai fungsi konsentrasi pada waktu 3 jam dan pH 6,1

C_0 (mg/g)	C_e (mg/L)	$q_e \times m$ (mg/g)	C_e / q_e	$\log C_e$	$\log q_e$	Persentase (%)
20	10,03	1,00	10,03	1,00	0	49,85
40	16,03	2,40	5,20	1,20	0,38	59,93
80	31,27	4,88	6,41	1,51	0,69	60,91
160	50,28	10,98	4,58	1,70	1,04	68,58

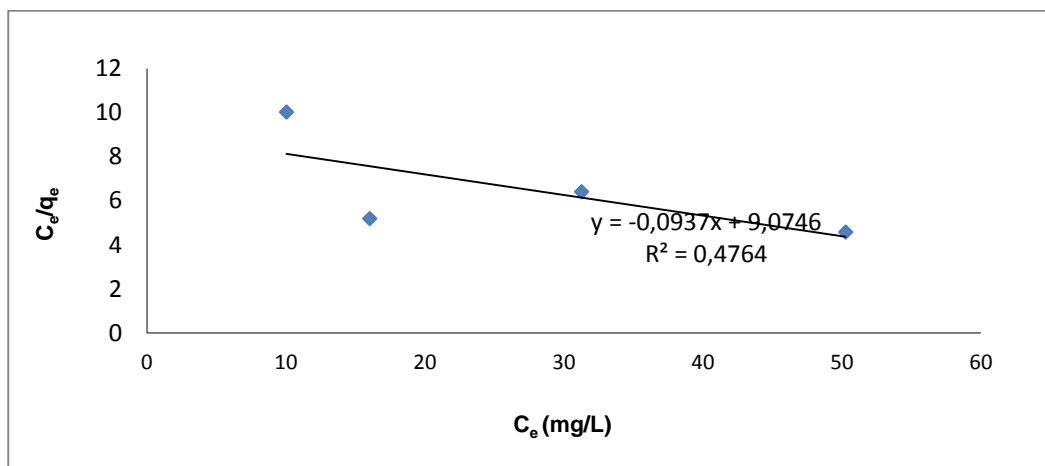
Keterangan: C_0 = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi (mg/L)

C_e = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi (mg/L)

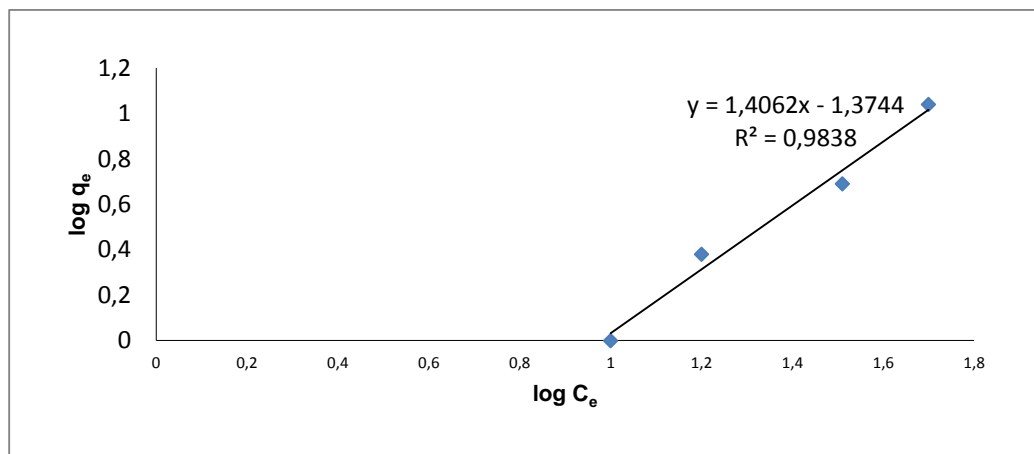
q_e = jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)



Gambar 3. Jumlah ion Cd²⁺ yang diadsorpsi oleh kulit singkong sebagai fungsi konsentrasi pada waktu 3 jam dan pH 6,1



Gambar 4. Isothermal Langmuir dari adsorpsi ion Cd²⁺ oleh kulit singkong



Gambar 5. Isothermal Freundlich dari adsorpsi ion Cd²⁺ oleh kulit singkong

Adsorpsi ion Cd²⁺ dengan menggunakan kulit singkong lebih sesuai dengan isothermal adsorpsi Freundlich dengan nilai $n = 0,7112$ L/g dan $k = 0,0423$ mg/g. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Nurhasni dkk (2009), pada penyerapan ion logam Cd²⁺ menggunakan sekam padi dengan nilai $k = 0,8299$ mg/g.

Adsorpsi Ion Cd²⁺ dari Limbah Cair

Limbah cair rumah sakit adalah semua air buangan yang berasal dari kegiatan rumah sakit meliputi kegiatan medik dan nonmedik. Limbah cair tersebut kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia beracun dan

radioaktif serta logam berat yang berbahaya bagi kesehatan. Bahan organik dan anorganik yang ada dalam limbah cair rumah sakit umumnya diukur dengan parameter BOD, COD, TSS, dan lain-lain (Kepmenkes RI, 2004). Hasil pemeriksaan air limbah rumah sakit umum Ibnu Sina berdasarkan Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan No. 69 Tahun 2010 Tentang Baku Mutu dan Kriteria Kerusakan Lingkungan Hidup Lampiran No I.D.2. Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit, dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 6. Hasil pemeriksaan kualitas air limbah rumah sakit Ibnu Sina

No	Parameter uji	Satuan	Metode uji	Hasil	Maksimum yang diperbolehkan	keterangan
A. 1	FISIKA Suhu	°C	Direct Reading	29	30	Memenuhi syarat
B. 1	KIMIA pH	-	pH Meter	8,0	6,0-9,0	Memenuhi syarat
2	BOD ₅	mg/L	Winkler	38,04	30	Tidak Memenuhi syarat
3	COD	mg/L	Bikromat	59,43	70	Memenuhi syarat
4	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	Gravimetri	57,20	30	Tidak Memenuhi syarat
5	NH ₃ -Bebas PO ₄	mg/L	Nessler	0,07	0,1	Memenuhi syarat
C. 1	MIKROBIOLOGI MPN-Kuman	mg/L	Spectrofotometric	0,15	2	Memenuhi syarat
2	Golongan Coli	jml/ 100	MPN	75	10.000	Memenuhi syarat

Sumber: Balai Besar K3 Makassar (2012)

Menurut Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian

Pencemaran Air, standar baku mutu logam berat pada perairan yaitu untuk logam Cd 0,01 mg/L. Tabel 7 menunjukkan bahwa

konsentrasi awal ion Cd^{2+} pada limbah cair rumah sakit umum Ibnu Sina 0,0114 mg/L sudah melebihi standar baku mutu.

Tabel 7. Jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi dari limbah cair dengan menggunakan kulit singkong

Ion Cd^{2+}		
C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
0.0114	0.0100	0.00014

Adsorpsi ion Cd^{2+} pada limbah cair rumah sakit memperlihatkan hasil yang kurang efektif, jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi hanya sebanyak 0,00014 mg/g. Hal ini disebabkan karena proses adsorpsi pada limbah cair rumah sakit juga dipengaruhi oleh adanya kemungkinan adsorpsi terhadap bahan organik atau ion logam lain yang ada dalam limbah cair rumah sakit (Oscik, 1991). Namun setelah proses adsorpsi konsentrasi ion Cd^{2+} pada limbah cair rumah sakit umum Ibnu Sina sudah sesuai standar baku mutu yaitu 0,01 mg/L dan aman untuk dibuang ke lingkungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kulit singkong dapat digunakan sebagai adsorben ion Cd^{2+} dengan hasil sebagai berikut:

1. Waktu kontak optimum yang diperlukan untuk adsorpsi ion Cd^{2+} dengan menggunakan kulit singkong adalah 3 jam perendaman dan pH optimum adalah 6,1.
2. Adsorpsi ion Cd^{2+} oleh kulit singkong lebih sesuai dengan isothermal adsorpsi

Freundlich dengan nilai $k = 0,0423$ mg/g.

3. Jumlah ion Cd^{2+} yang diadsorpsi dari limbah cair rumah sakit umum Ibnu Sina dengan menggunakan kulit singkong yaitu sebanyak 0,00014 mg/g dari 0,0114 mg/g.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2004. *Kimia Lingkungan*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Adamson, A.W. 1990. *Physical Chemistry of Surface* 5th ed. John Wiley and Sons, New York.
- Agiri, O. G. And Akaranta, O. 2009. *Adsorption of Metal Ions by Dye Treated Cassava Mesocarp*. (Online). 4(5) 526-530. (<http://science.direct.com>, diakses 29 Maret 2012).
- Akanbi. 2007. *The Use of Compost Extract as Foliar Spray Nutrient Source and Botanical Insecticide in Telfairia occidentalis*. World Journal of Agricultural Sciences.
- Anonim. 2011. *Adsorpsi*. (<http://www.Artikelkimia.Info/adsorpsi-47101522082011>, diakses 29 Maret 2012).
- Anonim. 2010. *Kulit Singkong Cegah Logam* (<http://teknokra.com/more/teknologi/46-teknologi/151-kulit-singkong-cegah-logam-berbahaya.html>, diakses 29 Maret 2012).
- Balai Besar K3 Makassar. 2012. *Hasil Pemeriksaan Kualitas Air Limbah Rumah Sakit Ibnu Sina*.

- Castellan, G. W., 1982. *Physical Chemistry, Second Edition*. McGraw Hill, New York.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- , 2006. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran; hubungannya dengan toksikologi senyawa logam*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Departemen Kesehatan RI. 1988. *Pedoman Umum Pengawasan Pencemaran Limbah Industri*. Ditjen PPM dan Ditjen PLK, Jakarta.
- Devendra, C. 1977. *Cassava as a Feed Source For Ruminant*. In: *Cassava as Animal Feed*. Nestel, B. and M. Graham (Eds.). IDRC- 095e. 107 – 119.
- Elliott, H.A, Liberati, M.R, and Huang, C.P. 1986. *Jurnal Environ. Qual.* **15**,3, 214-219.
- Fajar Makassar. 13 Mei, 2010. *Tallo Sudah Tercemar*. (Online). ([http://Fajar@news. Com](http://Fajar@news.Com), diakses 24 Oktober 2011).
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius, Yogyakarta.
- Gellerstedt, G. 1976. *The Reaction of Lignin During Sulfite Pulping*. *Svensk Papperstidn*, 79: 537-543.
- Hanifah, V. W., Yulistiani, D. dan Asmarasari, S. A. A. 2010. *Optimalisasi Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Menjadi Pakan Ternak dalam Rangka Memberdayakan Pelaku Usaha Enye-enye*. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner.
- Hariani, P. L., Nurlisa, H. dan Melly, O. 2009. *Penurunan Konsentrasi Cr(IV) Dalam Air Dengan Koagulan FeSO₄*. *Jurnal Penelitian Sains*. (Online), **12**, 2(C), 12208. (jpsmipaunsri-v12-no2-08-c-puji.pdf, Adobe reader, diakses 8 Maret 2012).
- Kahraman S, Dogan N, and Erdemoglu S. 2008. *Use of various agricultural wastes for the removal of heavy metal ions*. *Int. J. Environment Pollut.* (Online) **34**(1-4): 275-284 (<http://science direct.com>, diakses 22 Juni 2012).
- Karthikeyan G Anbalagan K, and Muthulakshmi N. 2004. *Adsorption Dynamics and Equilibrium Studies of Zn (II) onto Chitosan*. *J. Chem. Sci.* (Online), **2**(116): 119-127(<http://science direct.com>, diakses 22 Juni 2012).
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1204 Tahun 2004 Tentang Limbah Cair Rumah Sakit.
- Khan, A. N., Ibrahim, S., and Subramaniam, P. 2004. *Elimination of Heavy Metals from Wastewater Using Agricultural Waste as Adsorbents*. *Malaysian Journal of Science*. (Online), **23**, 43-51(<http://science direct.com>, diakses 20 Maret 2012).
- Khasanah. 2009. *Adsorpsi Logam Berat*. Oseana.
- Manahan, S. E. 1994. *Environmental Chemistry*. Lewis Publisher, Boston.
- Mufrodi, Z. Widiastuti, N. Dan Kardika, R. C. 2008. *Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash) untuk Variasi*

- Massa Adsorben dan Suhu Operasi.* Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta.
- Namasivayam, C. 2001. *Uptake of Dyes by a Promosing Locally Available Agriculture Solid Waste.* Coir Pith, Was. Manag.**21**, 381-387.
- Nix, R. 2001. *An Introduction of Surface Chemistry.* (Online). (<http://www.Chem.Qurm.ac.vk/surface/scc>, diakses 23 Juli 2012).
- Nomanbhay, S. M. And Palanisamy, K. 2005. *Removal of Heavy Metal from Industrial Wastewater Using Chitosan Coated Oil Palm Shell Charcoal.* J. Elect. Biotechnol.**8**, 43-53.
- Nurhasni.Hendrawati. Dan Saniyyah, N. 2009. *Penyerapan Ion Logam Cd dan Cr dalam Air Limbah Menggunakan Sekam Padi.* Tesis. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Oscik, J. 1991, *Adsorbition, Edition Cooper*, I.L. John Wiley and Sons, New York.
- Palar, H. 1994. *Toksikologi dan Pencemaran Lingkungan.* PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat.* PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- Pearson, R. G. 1963. *Hard and Soft Acids and Bases.* J. Am. Soc. **85**: 3533-3539.
- Peraturan Pemerintah Nomor. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan Pemerintah Nomor. 20 Tahun 1990 Tentang Pengendalian Pencemaran Air.
- Pinandari, W. A. 2010. *Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Industri Tapioka sebagai Bioremoval Logam Berat Asam Tambang dengan Biomassa Filter.* Program Kreativitas Mahasiswa. Universitas Lambung Mangkurat, Banjar Baru.
- Sanusi, H. 2006. *Kimia Laut, Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dengan Lingkungan.* Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Supriyadi. 1995. *Pengaruh Tingkat Penggunaan Hasil Fermentasi Kulit Ubi Kayu oleh Jamur Asfergillus niger dalam Ransum terhadap Performan Ayam Pedaging Periode Starter.* Skripsi. Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Wardhana, W.A. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan.* Andi Offset, Yogyakarta.
- Warlina, L. 2004. *Pencemaran Air: Sumber, Dampak Dan Penanggulangannya* (http://rudycr.com/pb/08234/lina_warlina.pdf diakses 8 Maret 2012)